

# Sinyal eşleme yöntemi kullanılarak kazık süreklilik deneylerinin değerlendirilmesi ve kazık kalitesinin belirlenmesi

Aykut ŞENOL\*, Güney DENEÇ

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu çalışmada, bir toplu konut inşaatında kazıklı temel olarak inşaa edilen temellere, tahribatsız kazık süreklilik deneyleri uygulanmış ve Hollandalı Profound firması tarafından geliştirilen “TNOWAVE: SITWAVE” programı ile kazık sürekliliği ve imalat kalitesi incelenmiştir. Süreklilik deneyleri yapıldıktan sonra kontrol amacı ile sinyal eşleme “signal matching” programı kullanarak, daha emin sonuçlara ulaşmak mümkündür. Analizde test sinyalleri ile referans sinyalleri eşleştirilir ve arazideki yaklaşık kazık şekline ulaşılır. Böylece arazideki kazık üzerindeki kusurları net bir biçimde görebilmek mümkün olabilmektedir. Esenyurt’ta bir toplu konut inşaatındaki, 191 kazık üzerinde yapılan tahribatsız düşük deformasyonlu süreklilik deneylerinden elde edilen sinyaller, sinyal eşleme programı yardımı ile analiz edilmiş ve “hız-zaman” grafikleri çizilmiştir. Analiz ile kazığın kesiti hakkında büyük bir yaklaşıklık ile bahsedilen kusurları saptamak mümkün olmuştur. Kazık kesitindeki genişlem, kazık performansını olumsuz yönde etkileyecek bir faktör değildir. Ayrıca bu etki kazığın çevre sürtünmesi ile taşınan yükü arttıran bir etken olduğu için, kazık kesitindeki genişlemeler fazla dikkate alınmamaktadır. Buna karşın kazık kesitindeki daralmalar, kazık performansını olumsuz yönde etkileyebileceği için, mevcut kazığın yerine yeni bir kazık yapılması veya ilave kazık imalatı gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada süreklilik deneyi yapılmış kazıkların sinyal eşleme yardımı ile tekrar kontrol edilmesi, kazıkların güvenilirliğinin teknik olarak irdelenmesi, gerekirse kusurlu kazıklarda düzeltme önerilebilmesi ve böylece kazık imalat kalitesinin daha iyi belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak, 15 m boyunda 0,50 m çapında imal edilen 191 tane kazık üzerinde herbir kazık için kazık boyu üç eşit kısma ayrılarak, (0-5)m, (5-10)m ve (10-15)m olacak şekilde, kazık alt, orta ve üst kısmını göz önüne alacak şekilde üç ayrı değerlendirme yapılmış ve bu noktalar arasında kazık kesitinde meydana gelen genişleme ve daralmalar ele alınıp, incelenmiş ve kazık kalitesi değerlendirilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Süreklilik deneyi, sinyal eşleme, gerilme dalga teorisi.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Aykut ŞENOL. [senol@itu.edu.tr](mailto:senol@itu.edu.tr); Tel: (212) 285 3746.

Makale metni 12.12.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 19.06.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2008 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Evaluation of pile integrity testing by signal matching method and determination of pile quality

### Extended abstract

*Use of pile integrity tests are common in the engineering applications in order to find the discontinuities of the piles. The aim of the pile integrity tests is to confirm the integrity of the pile and determine major faults in the pile. The integrity tests are based on the method ASTM D-5882.*

*The integrity of individual vertical or inclined piles are analyzed by measuring and analyzing the velocity response of the pile induced by a hand held hammer with plastic tip applied axially to the pile normally at the pile head. The top of the pile is hit with a plastic hammer and the reflected waves are recorded by a suitable computerized equipment. From the resulting signal, or reflectogram, one can determine both length and continuity of the pile.*

*SIT (Sonic Integrity Testing) provides quick and inexpensive results compared to core drilling, inspection by excavation and load tests which are time-consuming and costly. Hundreds of piles can be tested in a single day by using SIT equipment. However the sonic integrity testing should not be used to estimate bearing capacity. To obtain the best results from the analysis, the pile head should be clean, accessible and free from water. SIT is not generally suitable for prefabricated piles and piles with permanent casings.*

*In the future, because of the increasing need in the civil engineering developments, the use of deep foundations will increase. For the analysis and check of the piles to be cast in these projects, the pile integrity testing is the most economical solution. The stress wave theory is used for the interpretation of the pile integrity tests.*

*A. L. Smith produced the first general solution for the practical application of stress wave theory to piles. The method became practical by the adaptation of the analysis to the newly developed digital computers. Smith's model is still the basis for modern wave equation analysis. In SITWAVE we use TNO soil model is used for the analysis. In both of them soil is reflect by springs and dashpot systems.*

*The springs shows the elasticity of pile which will model by the characteristic of pile material and the dashpot systems refers to the damping of the soil.*

*The aim of this study is to determine the quality of piles that were driven in Esenyurt Mass Housing Project. The piles were analyzed using Profound's "TNOWAVE" software package which utilizes stress wave equation systems. SITWAVE is one of these programs which simulates the sonic integrity testing and performs automatic signal matching.*

*Using the signal matching method, the piles previously tested by the pile integrity test were analyzed. In this research, totally 191 cast-in-situ piles 15m long and 50cm in diameter were tested. The reference signals were matched with the test signals by using SITWAVE software. The reference signals are the signals taken from the site and the test signals are created by the software in terms of the pile and soil data. The deviations from the reference signals show that the locations where enlargement and decrement in the cross-section occurred. At the end of the analysis, the graphics given by the software include velocity and radius as function of time and length.*

*The piles were considered in three equal lengths, (0-5)m, (5-10)m and (10-15)m to find out the piles which had discontinuities. For the evaluation of the piles the piles which are determined to have enlargement more than %3 in diameter are considered as enlargement type and the piles which have decrement more than %3 in diameter as decrement type. The piles which have decrement in diameter more than %10 are considered as problematic because it can affect the structural performance of the piles.*

*Enlargement in cross-section is not considered as a factor which will effect pile performance negatively because it will increase the pile load which will carried by the skin friction but decrement in cross-section should have negative effect on pile performance.*

*Consequently, it should be considered as a problematic situation, if there is a decreament in cross-section which will cause a decrease in bearing capacity of piles.*

**Keywords:** Pile integrity test, signal matching, stress wave theory.

## **Giriş**

İnşaat mühendisliğinde kazıkların kullanılması yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Asırlar önce Venedik ve Amsterdam gibi şehirlerin kazıklar üstüne kurulup inşa edildikleri bilinmektedir. Kazıklı temeller günümüzde de yoğun bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Özellikle karaların yanı sıra deniz üzerindeki yapıların inşasında kazıklar, derin temeller olarak yapıları desteklemek için tercih edilir. Yapıları desteklemek için inşa edilen kazıkların kusurlarının bulunmasında süreklilik deneyleri, son yıllarda gelişmiş bazı ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Süreklilik deneylerinin amacı, inşa edilmiş temelin yapısal olarak sağlam olup olmadığını ve önemli kusurları içerip içermediğini doğrulamaktır. Derin temellere olan ihtiyaç arttıkça, süreklilik deneylerinin de önemi artmaktadır (Tomlinson, 1977). Bu çalışmada, Esenyurt'ta bir toplu konut inşaatı kapsamında, kazıklı temel sistemi ile inşa edilen konutların temelindeki kazıklar üzerinde yapılan tahribatsız düşük deformasyonlu kazık süreklilik deneyleri ve "SITWAVE-Signal Matching" programı yardımı ile yapılan analizler konu edilmektedir. Analizler sonucunda, arazide elde edilen kazık sinyal dataları ve SITWAVE programı ile analiz edilen kazık dataları karşılaştırılmış ve kazıklardaki süreksizlikler belirlenmiştir (SITWAVE, 1995).

## **Süreklilik deneyleri**

Tahribatsız düşük deformasyonlu kazık süreklilik deneyleri, kazık imalat kalitesinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bunlar, temellerdeki büyük kusurları veya süreksizlikleri ortaya çıkarmada yardımcı olup, kazıklara uygulanan tahribatsız düşük deformasyonlu süreklilik deneyleri ASTM D-5882 standartına uygun olarak yapılmaktadır (ASTM D-5882, 1995).

Süreklilik deneyi, kazık başında özel bir çekiçle oluşturulan darbenin, kazık başına yerleştirilen bir ivme ölçerle kaydedilmesi esasına dayanmaktadır. İvme ölçerle kaydedilen sinyal, belirli büyütme değerleri (amplification factor) kullanılarak dijital hale çevrilir. Sahada portatif bir bilgisayar vasıtası ile alınan kayıtlar, bu iş için

özel olarak geliştirilen yazılımlar kullanılarak analiz edilmekte ve sonuçlar grafik olarak "hız-zaman" şeklinde deney süresince elde edilmektedir. Bu veriler yardımı ile süreklilik deneyinden, kazık kesiti boyunca meydana gelen daralma, genişleme, kırıklar ve kazık boyu yaklaşık olarak belirlenebilir. Bu deneye tahribatsız süreklilik deneyi adı verilmesinin nedeni kazık başlığına çekiçle vurmak suretiyle yapılan darbede, kazığın zarar görmemesidir. Bu deneylerin yorumlanmasında, gerilme dalga teorisinden yararlanılmaktadır. Gerilme dalgası, çekiçle yapılan darbe sonrasında kazık başlığından başlayarak alta doğru hareket eder ve daha sonra alttan yansıyarak tekrar kazık başlığına çıkar. Bu deneyin ileride ekonomiklik ve yüksek performans nedeniyle derin temellerin bu tip analizinde daha da sık kullanılacağı tahmin edilmektedir.

Süreklilik deneyinde her kazık için üç ayrı kayıt alınarak, deney süresince ortamdaki çevresel değişikliklerin etkisi en aza indirilir. Ayrıca ölçüm yapılan tüm kazıkların ortalama sinyali elde edilebilmektedir (Chow vd., 2003). Kazıkların değerlendirilmesinde bu saha ortalamasından meydana gelen sapmalar kazık kalitesi hakkında önemli ipuçları vermektedir. Böylece kazıktaki süreksizlik noktaları belirlenebilmektedir.

Tahribatsız düşük deformasyonlu kazık süreklilik deneyleri genelde yerinde dökme kazıklarda tercih edilirken, prefabrike ve kalıcı muhafaza borulu kazıklarda tercih edilmez. SIT ile iyi sonuç almak için, kazık başı temiz, el altında ulaşılabilir yerde olmalı, buna karşın ses ve hareketli sudan etkilenmeyecek bir uzaklıkta olmalıdır. Yerinde dökme kazıklar en az 5 günlük olmalı, donatısı ve betonu istenilen standartları sağlayan, bilinen malzemelerden imal edilmiş olmalıdır.

Kazık imalat kalitesinin belirlenmesi için uygulanan kazık süreklilik deneylerinin birçok avantajı vardır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır.

- Basit,
- Ucuz,
- Hızlı,

- Kazık başlığında ufak bir hazırlık gerektirir,
- İnşaat öncesi kazık seçimi gerektirmez,
- Kazıktaki büyük kusurları saptamada çok etkilidir,
- Bir gün içinde yüzlerce kazıkta deney yapılabilir,
- Ekipmanı mobildir ve uygulaması kolaydır.

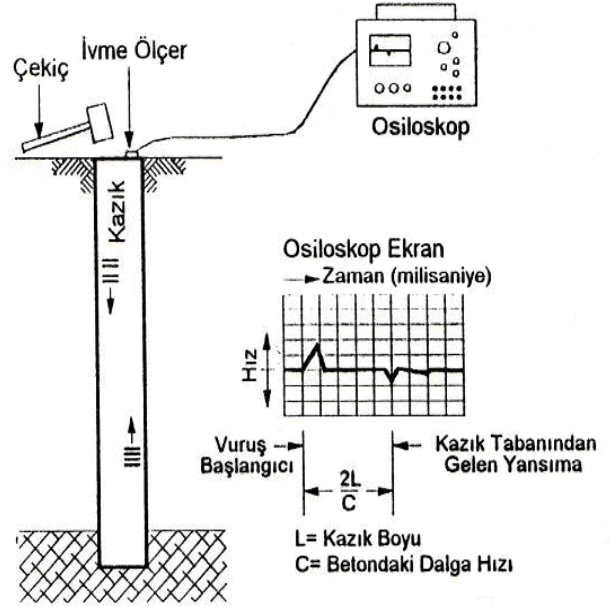
Süreklilik deneylerinin avantajları olduğu kadar çeşitli kısıtlamaları da vardır. Bunlar aşağıda belirtilmektedir.

- Beton kalitesi hakkında sınırlı bilgi verir,
- Kazık taşıma gücü kapasitesi hakkında bilgi vermez,
- Doğru data elde etmek için kazık yüzeyi çok temiz olmalıdır,
- Kazıktaki ufak kusurlar kolaylıkla görülemez,
- Büyük çevre sürtünmesine maruz çok uzun kazıklarda, kazık boyu belirlenmesi zordur,
- Dalga hızı belirlenmesinde yapılacak ufak bir hata, kazık boyu bulunmasında yanlış sonuçlar verebilir,
- Kazık ucundan yansıyan dalgalar kesit değişiminden, sürtünmeden ve adhezyondan etkilenebilir,
- Bu metot büyük bir boşluk ile bir kılcal çatlak arasındaki farkı ayıramaz çünkü ikisi de dalgayı tamamen yansıtır.

Süreklilik deneyleri genel olarak sismik süreklilik deneyi, vibrasyon deneyi ve sonik süreklilik deneyi olmak üzere başlıca üç grupta toplanabilir.

#### Sismik süreklilik deneyi

Bu deney, kazık başlığına vurulan bir çekicinin yarattığı basınç dalgalarının beton içinde yayılarak, kazık ucundan veya kazık içindeki düşük kaliteli beton tabakasından yansıyıp tekrar geri dönmesi arasında geçen sürenin ölçülmesi esasına dayanır (Şekil 1), (Düzceer, 2002).



Şekil 1. Sismik süreklilik deneyi

#### Vibrasyon deneyi (TDR - Transient Dynamic Response)

Kazığa uygulanan dinamik kuvvetin büyüklüğünü ölçmek için içine yük hücresi yerleştirilmiş küçük bir çekici ile kazık başlığına vurulur. Dalganın geri dönüş hızı geofon vasıtasıyla okunur. Okunan kuvvet ve hız değerleri bilgisayarda değerlendirilerek "frekans-hız / kuvvet" diyagramı çizilir. Diyagramdan yararlanarak kazık boyu, beton kalitesi ve kesit alanı hakkında bilgi edinilir. Bu grafikler incelendiğinde tepe noktaları kolaylıkla görülebilmektedir. Bu tepe noktalar, kazık efektif uzunluğunun anlaşılmasında ve kazıktaki belirgin hataların ortaya çıkmasında kullanılmaktadır (Fleming, 1992).

#### Sonik süreklilik deneyi

Kazık içine beton dökülmeden önce yerleştirilmiş olan kılavuz borulardan indirilen ekipman tarafından, ses kaynağından gönderilen sinyaller, diğer borudan indirilen alıcı vasıtası ile kaydedilir. Gönderilen ses dalgalarının beton içinde yayılma hızının bilinmesi beton kalitesindeki değişimin anlaşılmasını sağlar. Bu sistemin avantajı, kazık derinliği boyunca kazık kesitinin taranabilmesidir. Böylece beton kalitesi ve kazığın sürekliliği hakkında kesin bilgiye ulaşılmış olur (Düzceer, 2002).

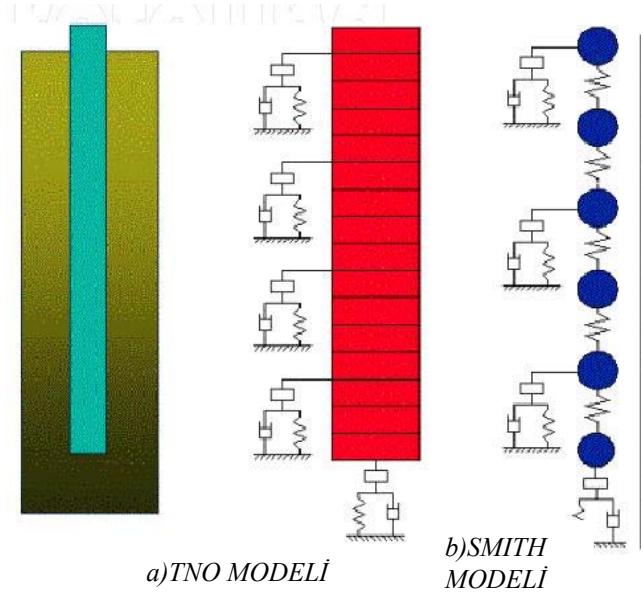
## Gerilme dalga teorisinin kazıklara uygulanması

### Tarihçesi

20. yüzyılın ortalarına kadar, kazık çakma analizinde gerilme dalga teorisinin kullanımının pratik çözümleri mevcut değildi. Ancak son 25 yıl içinde dijital teknolojinin ilerlemesi ile bilgisayar ve elektronik ölçüm aletleri bunu daha ekonomik ve pratik bir hale getirmiştir. Böylece gerilme dalga teorisi, kazıklar üzerinde devamlı olarak uygulanmaya başlamıştır

1940'ların sonuna doğru, bir Amerikan kazık çakma firmasında baş mühendis olarak çalışan Smith gerilme dalga teorisinin pratik uygulanması konusunda ilk genel çözümü üretti. Smith, kazık çakımı sırasında oluşan gerilmeleri tahmin etme konusunda çalışmalar yapıyordu. Bunun için süreksiz elemanları sonlu denklemler ile kullanarak sayısal bir formül üretti. Bu çözüm ilk olarak elle yapılmış olsa da Smith'in bu analizi, yeni çıkan gelişmiş bilgisayarlara uyarlanması ile daha pratik bir hale geldi. Smith'in yaptığı bu çalışma, inşaat mühendisliği tarihinde dijital teknoloji ile yapılan ilk çalışma sayılmaktadır. Smith modeli halen modern dalga denklemleri analizleri için bir temel oluşturmaktadır (Deneç, 2006).

Şekil 2'de sinyal eşleme programında kazığa uygulanabilen zemin modelleri görülmektedir. TNO modeli, tek boyutlu sürekli kazık ve süreksiz zemin modelinden oluşmaktadır. Bu modelde, kazık küçük alt elemanlara bölünmektedir. Kazık ile zemin arasındaki etkileşimler, çevre sürtünmesi ve uç sürtünmesi olarak ele alınmaktadır. Sürtünmeler yaylar ile, bu sürtünmelerden kaynaklanan zeminin sönümleme etkisi ise, "dashpot" sistemleri ile gösterilmektedir. TNO modelinin dayandığı temel çözüm yöntemi, karakteristik metot olarak adlandırılmaktadır. SMITH modelinde ise kazık parçalara ayrılmaktadır. Bu parçalar arasındaki yaylar, kazığın malzeme özelliğinden kaynaklanan elastisitesini göstermektedir. Her bir parçaya bitişik olarak gösterilen yay ve dashpotlar ise TNO modelinde olduğu gibi kazık-zemin etkileşimini ve sönümlemeyi göstermektedir.



Şekil 2. Kazık zemin modeli (Deneç, 2006)

Modern çağda, kazık ölçümleri ve analizleri ilk olarak ABD'nin Ohio eyaletinin Cleveland şehrinde Case Western Reserve University tarafından araştırılmıştır. Case projesi kapsamındaki genel dinamik kazık testleri kapalı uçlu çelik kazıklara, deformasyon ve ivme ölçerler takılmasıyla başlamıştır. Kazık ve bütün çakma sistemi tek bir rijit parça olarak düşünülürse, Newton'un ikinci yasasının uygulanması mümkündür. Bu metot ve korelasyonlar ilk olarak 1970'de Goble ve Rausche tarafından sunulmuş ve Case metodunun birinci safhası olarak adlandırılmıştır. Bu rijit parça yaklaşımı şu anda hızlı yükleme deneylerinde kullanılmaktadır. Daha sonraları Case araştırma takımı, zemin tepkisini ve kazık taşıma gücü kapasitesini belirleyebilmek için analitik aletleri geliştirme konusunda çalışmalarına devam etmişlerdir. Orjinal metotda kazık bir elastik çubuk gibi düşünülerek geliştirilmiştir. Sonuçta uzun elastik çubuklarda gerilme dalga teorisinin etkileri kazık taşıma gücünün belirlenmesinde dikkate alınmıştır. Bu da ikinci safha olarak adlandırılmıştır (Mohamad ve George, 1999).

### Dalga çeşitleri

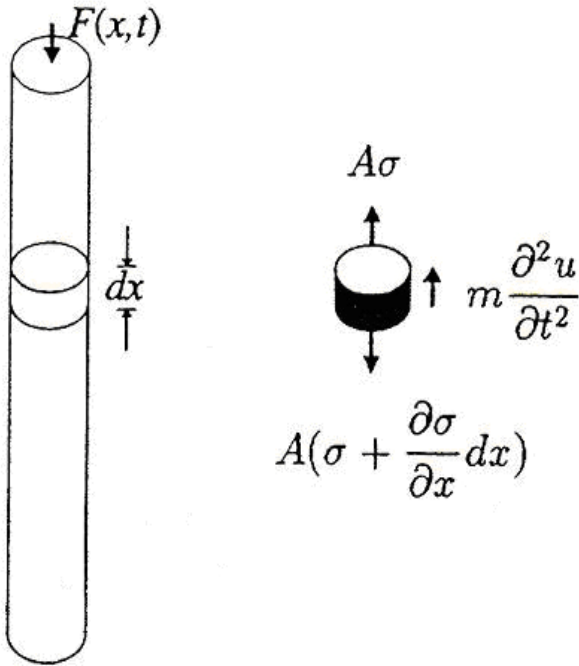
Başlıca üç çeşit dalga vardır. Bunlar P, S ve Rayleigh dalgalarıdır. P dalgası bunlar içinde gideceği noktaya en çabuk ulaşan, en hızlı dalgadır. P dalgası veya diğer bir deyişle basınç



dalgası sırasıyla ilk olarak sıkıştırır ve daha sonra dalğanın yayılım yönüne doğru genişletir. S dalgaları, P dalgasına göre daha yavaştır ve gideceği noktaya daha geç ulaşır. S dalgaları hareketine zemini yukarı, aşağı, geri ve ileri doğru yayılım yönüne dik bir şekilde sallayarak devam eder. P ve S dalgalarını yüzey dalgaları izler. Rayleigh dalgası bir yüzey dalgasıdır. Yüzey dalgaları, zemin yüzeyine yakın yerde görülen sismik dalgalardır (Carino, 1999).

### Tek boyutlu dalga teorisi

Bir temel kazığı, çakma veya test sırasında bir çekiç tarafından vurma suretiyle yüklendiğinde, kazıkta bir başlangıç dalgası oluşur. Kazıktaki süreksizlikler, kusurlar ve kazığı çevreleyen zemindeki etkileşimler başlangıç dalgalarına ters yönde yayılan yansıma dalgalarını oluşturur. Başlangıç dalgası, yansıma dalgası ve sonraki yansımalar kazık uzunluğu boyunca birbiri üzerine tesir ederler. Bu işlemler tek boyutlu dalga teorisine göre sayısal olarak değerlendirilir. Aşağıda Şekil 3'te, içsel sönümleme veya zemin etkileşimine maruz kalmayan silindirik bir çubuk görülmektedir (TNO Building and Construction Research, 1997).



Şekil 3. Tek bir uçtan yüklenmiş silindirik bar

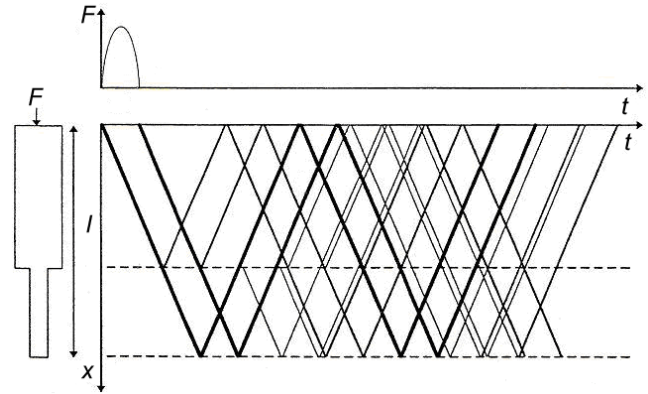
### Kazık süreksizlikleri

Şekil 4'te süreksizliği olan bir kazıktaki yansımalar gösterilmektedir. F kazığa etkiyen kuvvet, x kazık boyunca herhangi bir nokta, t ise zamandır. Başlangıç dalgası ilk olarak aşağı doğru hareket etmekte ve kazık kesitinin değiştiği noktada çeşitli yansımalar yapmaktadır (TNO Building and Construction Research, 1997).

### Sinyal eşleme (SITWAVE)

#### Sinyal eşleme "Signal matching" programının işletimi

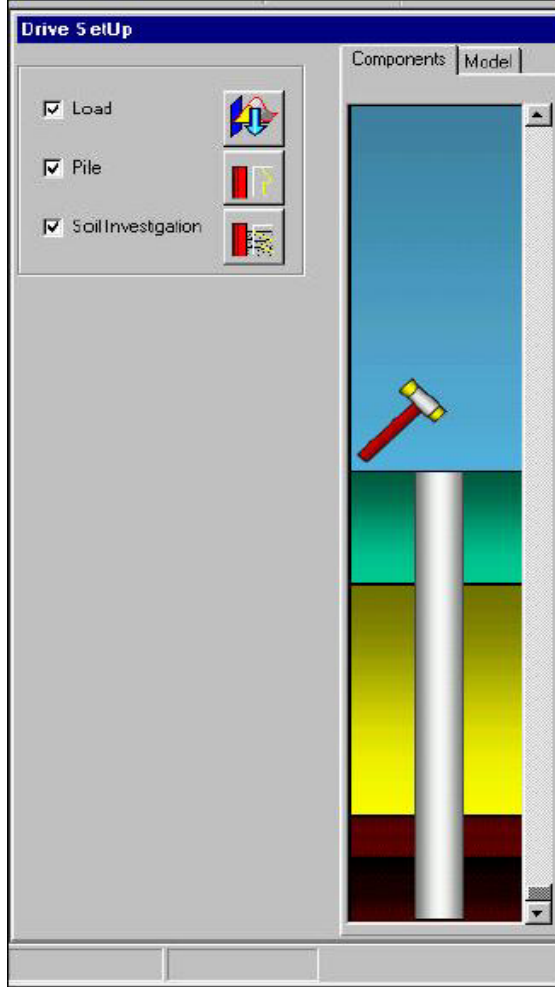
Program ilk açıldığında bir "load" yükleme kısmı ekranda görülür. "Load" tuşuna basıldıktan sonra "measured signal" seçeneğini seçerek çekiç yüküne eşdeğer olan, araziden alınmış sinyal datası programa yüklenir. Şekil 5'te, bu işlem sırasında karşımıza çıkacak olan ekran verilmektedir.



Şekil 4. Süreksizliği olan bir kazıktaki yansımalar

Daha sonra menüdeki "pile" ve "soil investigation" tercihleri seçilerek çalışılan arazideki kazık ve zemin özelliklerinin programa girilmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin hiçbir eksik olmadan programa girilmesi için kazık boyu, kazık çapı, kazık malzemesi, kazığın kaç parçada değerlendirileceği, kazığa hangi modelin uygulanacağı, araştırma tipi, zemin profili, zeminin kaç tabakadan oluştuğu, zemin cinsi ve zemindeki SPT-N vuruş sayılarının bilinmesi ve girilmesi gerekmektedir. Geoteknik mühendisliği uygulamalarında genelde SPT-N sayılarında efektif düşey gerilme ve enerji düzeltmesi yapılmaktadır. Diğerlerinin etkisi daha az oldu-

ğundan, bu düzeltmeler ihmal edilmektedir. Kohezyonlu zeminlerde, derinlik düzeltmesi hala bir tartışma konusudur ve pratikte kil zeminler için bu düzeltme yapılmaz. Çalışmadaki zeminin kil olduğu için derinlik düzeltmesi ihmal edilmiş, sadece enerji düzeltme faktörü dikkate alınmıştır. Bu şekilde SPT-N değerlerini 0.75 (enerji düzeltme faktörü;  $0.45/0.60=0.75$ ) ile çarparak SPT-N60 düzeltilmiş SPT sayılarına ulaşılmıştır.



Şekil 5. Data girdi ekranı (SITWAVE, 1995)

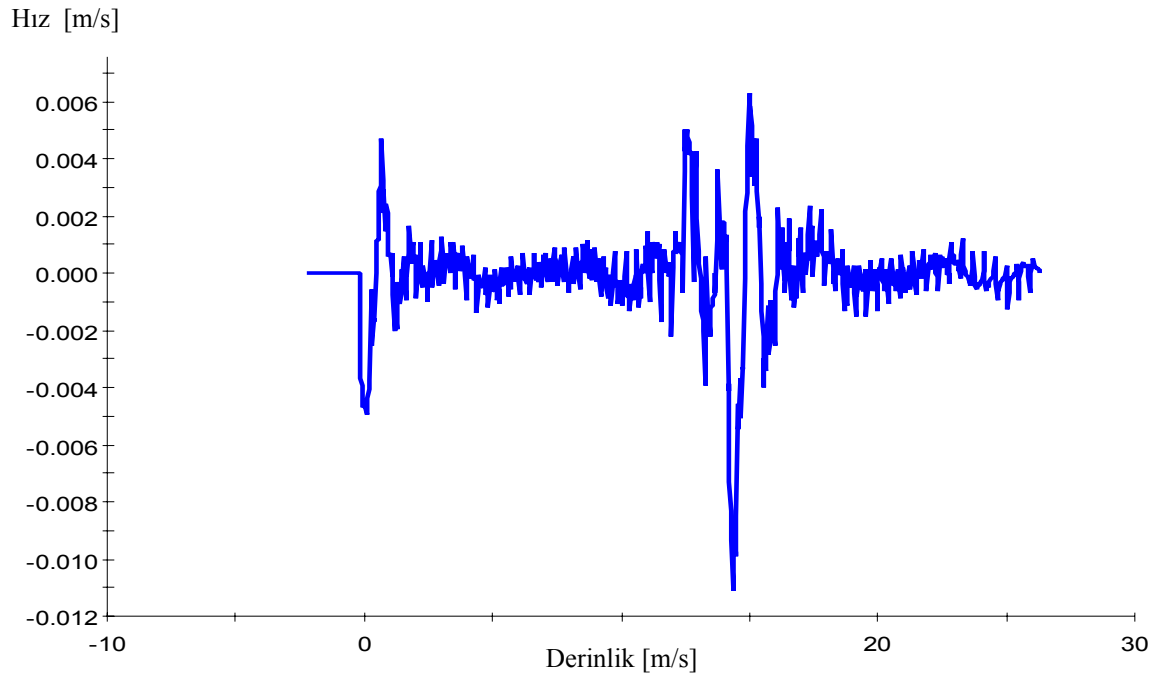
Analiz sırasında grafiklerin ilerleyişi izlendiğinde, programın yaptığı sinyal eşleştirmesi daha net bir şekilde gözlenebilir. Herbir analiz ortalama 15-25 dakika civarında sürmektedir. Ayrıca analiz bittiği an grafikler anında görülebilir. Bu grafikler kuvvet-zaman, hız-zaman ve çap-kazık boyu grafikleri olup, ilave olarak arazideki mevcut kazık şeklini de görmek mümkün ol-

maktadır. Doğrudan kazık şekline bakarak kazıktaki kusurlar, kesitteki genişlemeler ve daralmalar hakkında yorum yapmak mümkün iken, bir yandan da hız zaman grafiğine bağlı olarak dalga yayılım şekillerinden, kazığın kusurlu noktalarını ve başlayıp bittiği uzunluğu tahmin etmek mümkün olmaktadır. Şekil 6'da, kazık analizi yapıldıktan sonra ortaya çıkan, hız ve derinliğe bağlı bir sinyal grafiği örneği verilmektedir. Şekil 7'de bir analiz sonucunda ortaya çıkan kazık şekli örneği görülmektedir. Düşey eksen kazık çapını, yatay eksen ise kazık boyunu göstermektedir. Kazık çapı 0.5m, kazık boyu ise 14.3m'dir. Şekil 8'deki kesikli çizgiler arasındaki mesafe, kazık çapını ifade etmektedir. Kazık çapına göre kesit incelendiğinde kesitteki genişlemeler ve daralmalar açık bir biçimde görülebilmektedir. Düşey eksenindeki kesikli çizginin üstünde kalan kısımlar genişleme, altında kalan kısımlar ise daralma olarak dikkate alınmaktadır. Kesitteki genişlemeler bir sorun teşkil etmese de, daralmalara dikkat edilmeli ve buna karşı gereken önlemler alınmalıdır.

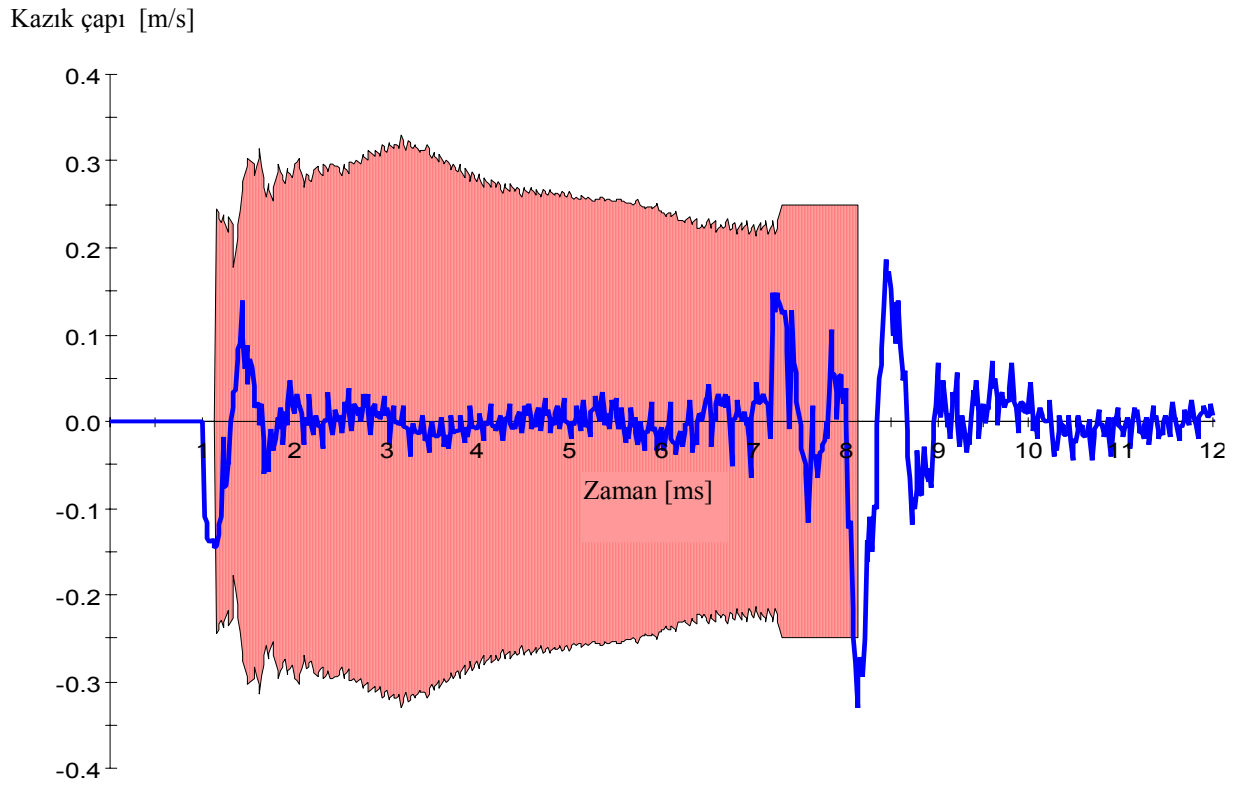
#### Analiz sonuçları

Bu çalışmada, Esenyurt'ta bir toplu konut inşaatı kapsamında, kazıklı temel sistemi ile inşaa edilen konutların, temel kazıkları üzerinde "SITWAVE-Signal Matching" programı yardımı ile yapılan analizler konu edilmiştir (Şekil 9). Sonuçta, toplam 191 tane kazıkta analiz yapılmış ve test edilen her bir kazık için kazık boyu (0-5)m, (5-10)m ve (10-15)m olarak üç ayrı kısımda değerlendirmeye alınmıştır. Bu değerlendirme sonrasında kazık kesitinde meydana gelen genişleme ve daralmalar ele alınıp, incelenmiştir.

Kazık kesitindeki değişimler yumuşak tabakalardan, dolgulardan, çok sert tabakalardan, zemin içindeki boşluklardan, eski temellerden, kazık tabanı genişletmelerinden, beton kalitesinin değişiminden, kazık donatısının gereğinden fazla kullanılmasından ve yeraltı suyunun etkisi ile meydana gelebilir. Bazı değerlendirmelerde, sinyal kazık ucuna gelene kadar sönümlendiği ya da kazık ucuna, bir çatlaktan dolayı ulaşamadığı için, kazığın uç kısmının sürekliliği hakkında net bir yorum yapılamamaktadır.

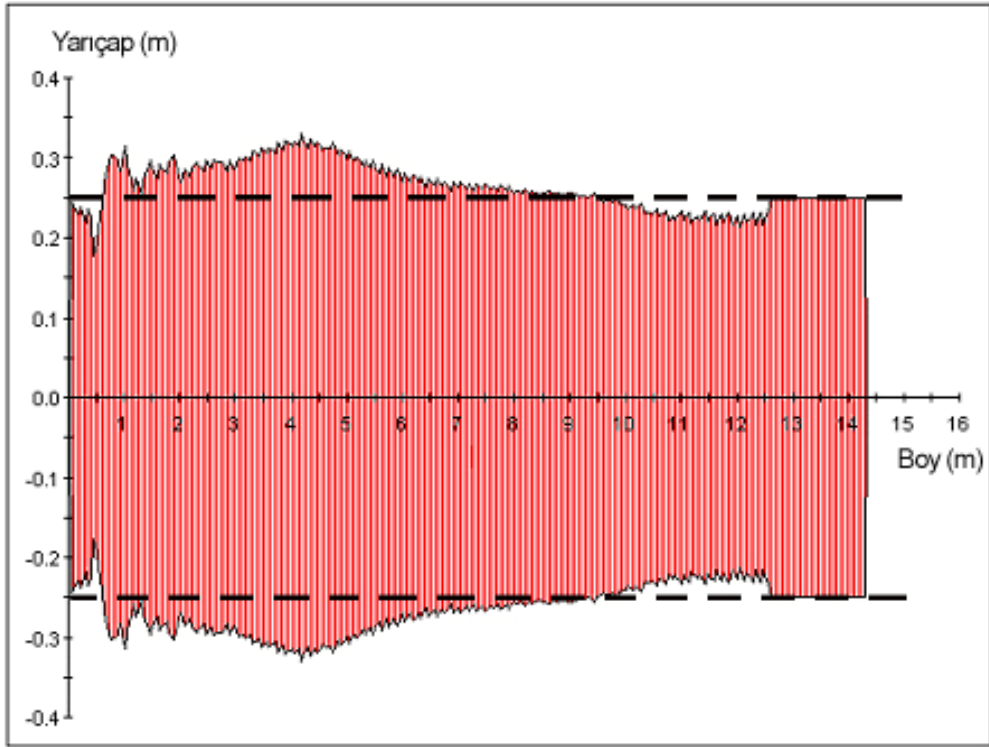


Şekil 6. Hız ve derinliğe bağlı sinyal grafiği (Deneç, 2006)



Şekil 7. Kazık şekli ve zamana bağlı hız grafiği (Deneç, 2006)





Penetration pile toe 0,000 [m]  
Reference Diameter = 0,5000 [m]

Part	Number	Type	D/B_top	D/B_bot
			[m]	[m]
Pile	1	Circular	0,5000	0,459
Pile	2	Circular	0,4919	0,436
Pile	3	Circular	0,4788	0,448
Pile	4	Circular	0,3545	0,486
Pile	5	Circular	0,5157	0,588
Pile	6	Circular	0,6131	0,593
Pile	7	Circular	0,5460	0,627
Pile	8	Circular	0,6108	0,516
Pile	9	Circular	0,5651	0,505
Pile	10	Circular	0,5192	0,591
Pile	11	Circular	0,5969	0,548
Pile	12	Circular	0,5898	0,563
Pile	13	Circular	0,5811	0,605
Pile	14	Circular	0,5985	0,538
Pile	15	Circular	0,5772	0,550
Pile	16	Circular	0,5735	0,586
Pile	17	Circular	0,5878	0,557
Pile	18	Circular	0,5931	0,567
Pile	19	Circular	0,5931	0,585
Pile	20	Circular	0,5894	0,561
Pile	21	Circular	0,5929	0,562
Pile	22	Circular	0,5967	0,593
Pile	23	Circular	0,6012	0,590
Pile	24	Circular	0,6172	0,599
Pile	25	Circular	0,6252	0,608
Pile	26	Circular	0,6232	0,607

Şekil 8. Kazığın analizden sonraki şekli (Deneç, 2006)



Şekil 9. Konutların altlarında imal edilmiş yerinde dökme kazıklar

Kazık kesitindeki genişleme kazık performansını olumsuz yönde etkileyecek bir unsur değildir. Ayrıca kazığın çevre sürtünmesi ile taşınan yükü arttıran bir faktör olduğu için, kazık kesitindeki genişlemeler fazla dikkate alınmamaktadır. Buna karşın, kazık kesitindeki daralmalar, kazık performansını olumsuz yönde etkileyebileceği için kazığın yerine yeni bir kazık yapılması veya ilave kazık imalatı gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.

Kazıkta taşıma gücünü etkileyecek kadar büyük oranda daralma gözlemlendiği zaman ise kazığın kullanımı iptal edilmektedir.

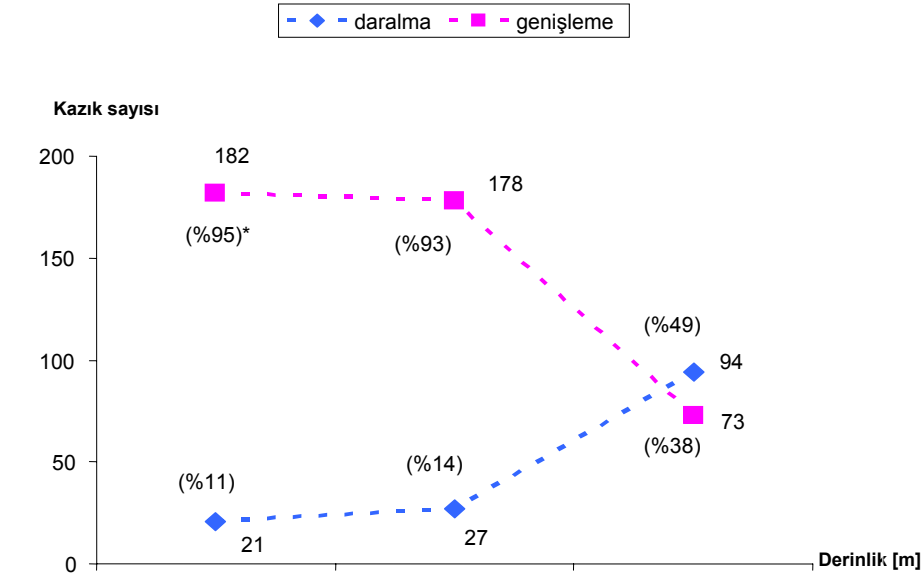
Bu çalışmada SK7, SK8, SK9, SK11, SK12, SK13, SK16 olmak üzere 7 bölge bulunmaktadır. Bu bölgelerde toplam 191 tane kazık mevcuttur. Bölgelerde zemin profili genellikle katı kil, çok katı kil ve sert kil formasyonudur. Tablo 1’de sondajlara göre zemin profili ve SPT-N60 değerleri verilmektedir. Toplam 191 kazık üzerinde yapılan analizlerin sonuçları Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Sondajlara göre zemin profili ve SPT-N60 değerleri (Deneç, 2006)

Sondaj	Kazık Sayısı	N <sub>60</sub> ort	Açıklama
SK7	36	10	0-7 m katı kil
		14	7-10 m katı kil
		21	10-13 m çok katı kil
		36	13-15 m sert kil
SK11	28	13	0-4 m katı kil
		22	4-7 m çok katı kil
		36	7-12.5 m sert kil
SK13	18	38	0-10 m sert kil-kumlu kireçtaşı
SK12	19	9	0-5 m orta katı kil
		16	5-6.5 m katı kil
		33	6.5-10 m sert kil
SK16	24	6	0-5 m yumuşak-orta katı kil
		18	5-8 m çok katı kil
		23	8-13 m çok katı kil
		35	13-15 m sert kil
SK9	20	5	0-4 m orta katı siltli kil
		7	4-6.5 m orta katı kil
		10	6.5-10 m katı kil
SK8	46	6	0-6 m orta katı siltli kil
		10	6-8 m katı kil
		17	8-10 m çok katı kil
Toplam	191		

Tablo 2. Süreksizlik tipine göre bölgelerdeki kazık sayısı ve kazık yüzdesi (Deneç, 2006)

Bölge	Bölgedeki kazık sayısı	Genişleme		Daralma		Hem Genişleme Hem Daralma		Kusurlu	
		$\geq +\%3$	Toplam kazık sayısına göre kazık yüzdesi	$\geq -\%3$	Toplam kazık sayısına göre kazık yüzdesi	Kazık Sayısı	Toplam kazık sayısına göre kazık yüzdesi	$\geq \%10$ Daralma	Toplam kazık sayısına göre kazık yüzdesi
SK7	36	34	%18	22	%12	20	%10	3	%2
SK11	28	27	%14	14	%7	13	%7	3	%2
SK13	18	16	%8	18	%9	16	%8	11	%6
SK12	19	19	%10	16	8%	16	%8	6	%3
SK16	24	24	%13	21	%11	21	%11	4	%2
SK9	20	20	%10	2	%1	2	%1	-	-
SK8	46	46	%24	9	%5	9	%5	3	%2
Toplam kazık sayısı:	191	186	%97	102	%53	97	%51	30	%16



Sinyal eşleme yöntemi kullanılarak kazık kalitesinin belirlenmesi

Şekil 10. Derinlik ve toplam kazık sayısına göre daralma ile genişleme (Deneç, 2006)

## Sonuçlar

Kazıklarda değerlendirme yapılırken çap olarak %3'ten büyük oranda daralma görülen kazıklar daralan, %3'ten büyük oranda genişleme görülen kazıklar ise genişleyen kazık olarak değeri-

lendirilmiştir. Çap olarak %10'dan büyük oranda daralma görülen kazıklarda kazığın yapısal performansını etkileyeceği için bu kazıklar kusurlu kazık olarak kabul edilmiştir.

- Analiz sonuçlarına göre, 191 tane kazığın 186'sında kesitte genişleme, 102'sinde daralma ve 97'sinde de hem genişleme hem daralma görülmüştür. 30 tane kazığın da kusurlu olarak imal edildiği kabul edilmiştir.
- Toplam kazık sayısına göre bir hesaplama yapıldığında, analizin değerlendirmesine göre genişleme olan kazıklar tüm kazıkların %97'si, daralma olan kazıklar %53'ü ve kusurlu olarak kabul edilen kazıklar %16'sı oranındadır.
- Daralma yapan kazıkların %11'i kazığın (0-5)m aralığında, %14'ü (5-10) m aralığında, %49'u ise (10-15)m aralığında daralma yapmıştır (Şekil 10).
- Genişleme yapanlar incelendiğinde, %95'i (0-5)m aralığında, %93'ü (5-10)m aralığında, %38'inin ise (10-15)m aralığında olduğu saptanmıştır (Şekil 10).
- (0-5)m aralığında en fazla daralma SK13 bölgesinde, (5-10)m aralığında en fazla daralma SK7 ve SK16 bölgesinde, (10-15)m aralığında ise en fazla daralma SK7 ve SK16 bölgesinde meydana gelmiştir.
- Kazık kesitindeki genişlemeler en fazla SK8 bölgesinde meydana gelmiştir.
- Kusurlu kazıklar (%10'dan büyük oranda daralma görülen) en fazla SK13 bölgesinde bulunmaktadır.
- Zemin profiline göre bir değerlendirme yapıldığında kazık kesitindeki genişlemenin genelde orta katı kil ve çok katı kil formasyonlarında görüldüğü belirlenmiştir.
- Kazık kesitindeki daralmalar değerlendirildiğinde ise genelde çok katı kil ve sert kil formasyonlarında daralmalar görüldüğü saptanmıştır.
- Bu araştırmanın amacı, süreklilik deneyi yapılmış kazıkların sinyal eşleme yardımı ile sürekliliğinin kontrol edilmesi, kusurlu kazıkların belirlenmesi, gerekirse kusurlu kazıklarda düzeltme önerilebilmesi ve kazık imalat kalitesinin profesyonel bir geoteknik yorumlaması ile belirlenmesidir. Ayrıca sinyal eşlemenin kazık formunun derinlik ile değişimi en iyi elde edilen bir yöntem olmasıdır.

- Bu programın bir dezavantajı olarak, kazık taşıma gücü hakkında bir saptama yapılamaması söylenebilir.
- Test edilen 191 kazıkta, kazık başlığının ilk 1-2 m'sinde daralma olduğu saptanmıştır. Kazığın üst kısmındaki daralma, kazık başının tekrar kalıplanarak, betonlaması ile telafi edilebilmektedir. Ancak sadece ilk 1-2m için söz konusudur. Bu fore (delme) kazık yöntemi ile yapılan imalatlarda sıkça rastlanan bir durumdur. Bu daralma göstergesinin kazığın ilk 1-2 m'sinde kazık betonunun düşük mukavemet göstermesi nedeni ile meydana geldiği düşünülebilir fakat mevcut verilerle kesin bir yargıya varılamaz. Bu da programın diğer bir dezavantajı olarak düşünülebilir.

Sonuç olarak bu program, süreklilik deneyi yapılmış kazıkların sinyal eşleme ile sürekliliğinin kontrol edilmesi ve kazık formunun derinlikle değişiminin elde edilmesini sağlayan bir metottur. Kazıklarda kesit alanında meydana gelen değişimler temel alınarak süreksizlik tiplerinin belirlenmesini ve kazığın yapısal performansının değerlendirilmesini sağlar. Böylece kazık imalat kalitesinin profesyonel bir yorumlama ile belirlenmesi sağlanır. Farklı zemin koşullarında farklı derinliklerde benzer çalışmalar yapılarak kazık performansı değerlendirilebilir.

### Teşekkür

Bu çalışmaya değerli bilgileri ve yardımları ile katkıda bulunan sayın Orhan İnanır, Müge İnanır ve Geogrup İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- ASTM D-5882, (1995). Standart test method for low strain integrity testing, *American Society for Testing and Materials*, USA.
- Carino, N.J., (1999). Stress wave propagation methods, National Institute of Standards and Technology, USA.
- Chow, Y.K., Phoon, K.K., Chow, W.F. ve Wong K.Y., (2003). Low strain integrity testing of piles, Three dimensional effects, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **129**, 11, November 1, 2003.

- Deneç, G., (2006). Sinyal Eşleme Yöntemi Kullanılarak Kazık Süreklilik Deneylerinin Değerlendirilmesi ve Kazık Kalitesinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Düzceer, İ.R., (2002). Kazık Yükleme Deneyleri İle Nihai Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fleming, W.G.K., (1992). *Piling Engineering* 2<sup>nd</sup> Edition, E & FN Spon, An Imprint of Routledge, London and New York.
- Mohamad, H.H. ve George, G.G., (1999). *A brief history of the application of the stress wave theory to piles*, USA.
- SITWAVE, (1995). Sitwave - Sit Simulation and Signal Matching Version 7.3, TNO, Profound, Treubstraat 1j, 2288 EG Rijswijk, The Netherlands.
- TNO Building and Construction Research, (1997). Foundation Pile Diagnostic System, Sonic Integrity Testing User's Guide, The Netherlands.
- Tomlinson, (1977). *Pile Design and Construction Practice*, A Viewpoint Publication, London.